

FUĆ Paweł, MERKISZ Jerzy, LIJEWSKI Piotr, BAJERLEIN Maciej, MOLIŁ Piotr, RYMANIAK Łukasz

ANALIZA ROZKŁADU LICZBY CZĄSTEK STAŁYCH EMITOWANYCH PRZEZ POJAZDY KATEGORII PC I HDV W WARUNKACH RZECZYWISTEJ EKSPLOATACJI

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki badań emisji cząstek stałych pojazdów kategorii PC i HDV. Badane pojazdy wyposażone były w silniki ZS z różnego rodzaju systemami oczyszczania spalin. Do badań zastosowano mobilne analizatory spalin należące do grupy PEMS (Portable Emissions Measurement Systems) – analizator stężeń cząstek stałych AVL MSS oraz spektrometr masowy TSI EEPS ze względu na pomiary w rzeczywistych warunkach eksploatacji, w ruchu miejskich. Otrzymane wyniki badań drogowych poddano analizie na podstawie której wyznaczono współczynniki korelacji koncentracji dla dwóch zestawień grup pojazdów PC-PC oraz PC-HDV. Analizę przeprowadzono dla pojazdów spełniających normy Euro 3-5.

WSTĘP

Problematyka powstawania i emisji cząstek stałych PM w silnikach spalinowych jest podejmowana od wielu lat. Ze względu na rozwój aparatury pomiarowej możliwe jest coraz głębsze poznawanie ich struktury, a także warunków, które sprzyjają ich tworzeniu. Mechanizm powstawania cząstek stałych jest bardzo złożony i trudny do jednoznacznego zdefiniowania. Przyjmuje się, że cząstki stałe są związkami chemicznymi w stanie ciekłym lub stałym, które powstają w komorze spalania, posiadają skomplikowaną strukturę i w ich budowie występują m.in. cząstki węgla, siarki, azotu, ciężkich węglowodorów oraz metali. Większość wymienionych składników jest bardzo niebezpieczna dla organizmu ludzkiego, dla tego producenci jednostek spalinowych wprowadzają różnego rodzaju systemy ograniczające emisję omawianego składnika toksycznego. W przypadku pojazdów spełniających najwyższe normy emisyjne pojawia się dodatkowe zagrożenie związane z emisją cząstek stałych charakteryzujących się bardzo niewielkimi rozmiarami – długo utrzymują się w atmosferze i są łatwo wchłaniane do płuc. W związku z powyższym należy podjąć próbę przeprowadzenia analizy cech fizycznych w oparciu o liczbę całkowitą cząstek emitowanych przez silniki spalinowe, spełniające różnego rodzaju normy, na podstawie badań zrealizowanych w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

1. MECHANIZM POWSTAWANIA CZĄSTEK STAŁYCH

Powstawanie cząstek stałych jest procesem wielu bardzo złożonych reakcji chemicznych i fizycznych, często zachodzących równocześnie w różnych miejscach silnika spalinowego oraz układu wylotowego. Jako jedne z najprawdopodobniejszych mechanizmów przyjmuje

się rozpad oleju napędowego na związki aromatyczne lub cząstki acetylenu. Z nich powstaje sadza – podstawowy element struktury cząstek stałych. Powodem powstawania sadzy w komorze spalania silników ZS mogą być:

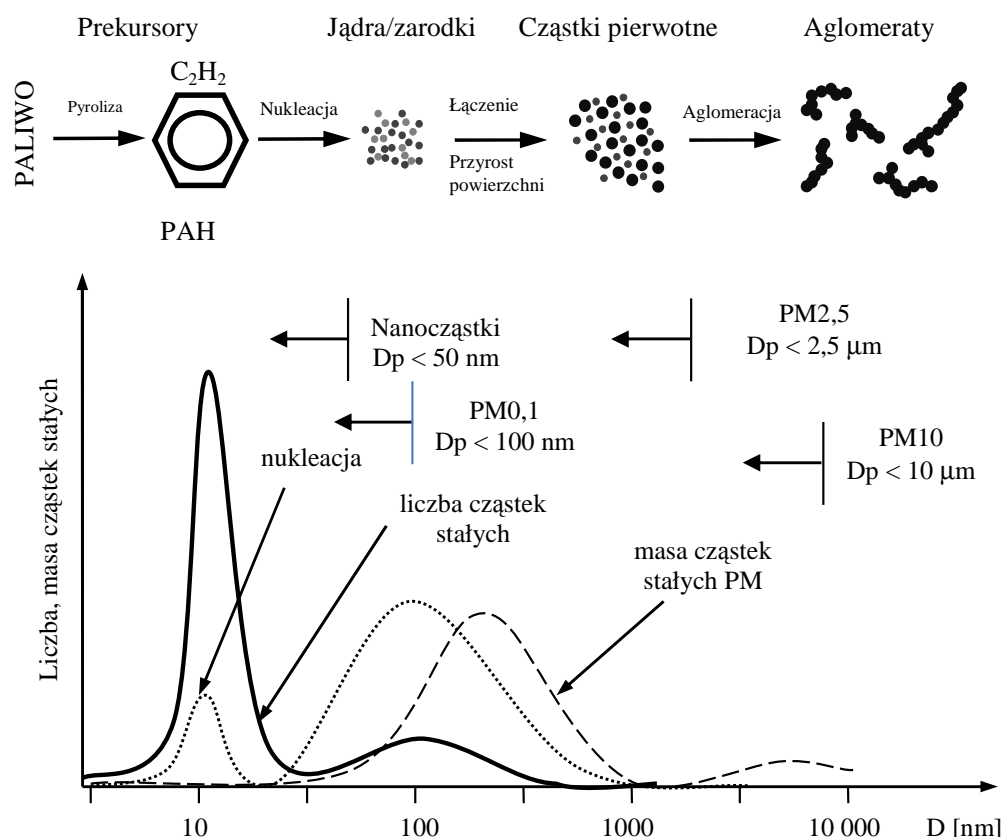
- lokalnie bogata mieszanka paliwowo-powietrzna ($\lambda < 1$),
- niewłaściwe parametry wtrysku paliwa,
- zbyt niska temperatura spalania,
- zimny rozruch silnika,

natomiast jako bezpośrednie przyczyny określa się:

- rozkład temperatury w mieszance paliwowo-powietrznej,
- rozkład stężeń substratów i produktów spalania,
- kinetykę reakcji chemicznych uzależnionej od ilości utleniacza oraz lokalnego rozkładu temperatur,
- wartości występujących ciśnień w komorze spalania.

W komorze spalania może także dochodzić do endotermicznego rozpadu CO, w wyniku czego powstaje czysty węgiel.

Morfologię (gr. *morphē* = kształt, *logos* = nauka – nauka o postaci i budowie) cząstek stałych w kontekście nowoczesnych rozwiązań stosowanych w silnikach spalinowych i pojazdach należy rozważać w dwóch aspektach. Pierwszy dotyczy najczęściej rozpatrywanych parametrów fizycznych tj. rozmiaru i liczby. Drugi aspekt to parametry chemiczne jak budowa cząstki stałej i jej skład. Ważnym czynnikiem z punktu widzenia analizy morfologii cząstek stałych w aspekcie procesów filtracji jest rozkład liczby emitowanych cząstek stałych. Rozkład ten jest inny w zależności od konfiguracji układu oczyszczania spalin.



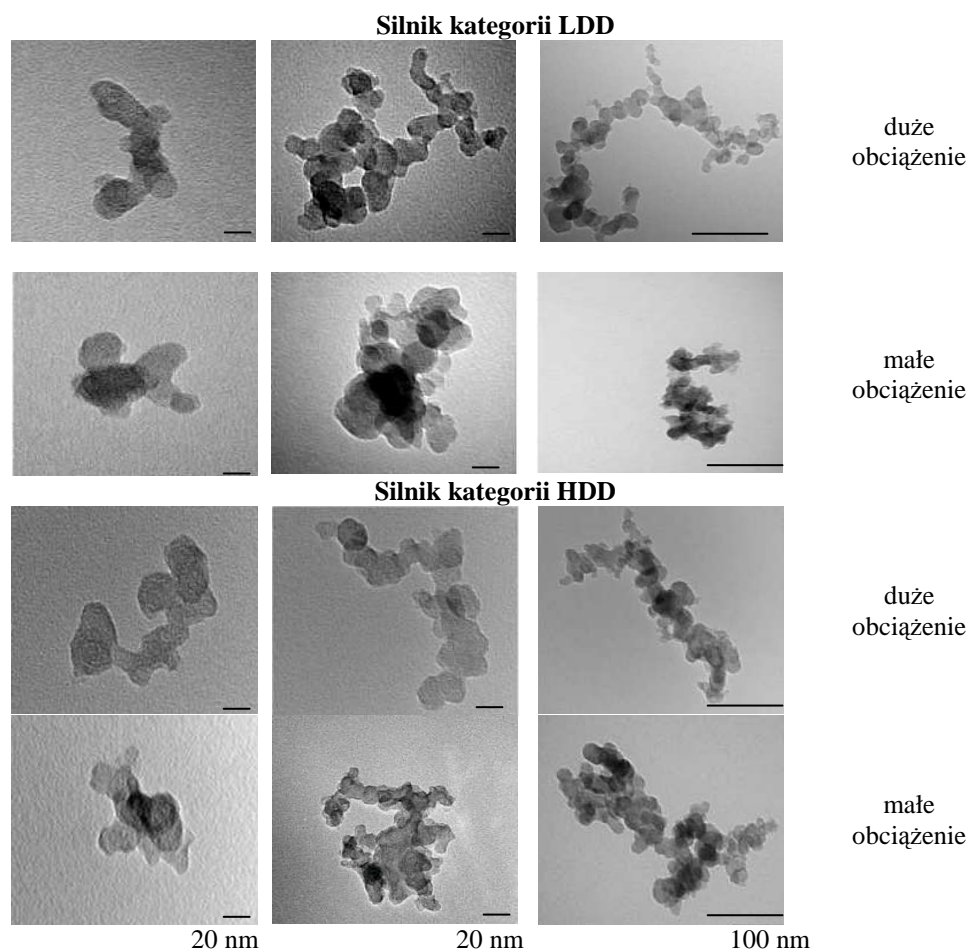
Rys. 1. Przyjęty schemat formowania się sadzy wraz z rozkładem wymiarowym cząstek [3, 5]

2. WPŁYW POZASILNIKOWYCH UKŁADÓW OCZYSZCZANIA SPALIN NA FORMOWANIE CZĄSTEK STAŁYCH

W literaturze sadzę emitowaną z silników ZS rozpatruje się głównie według trzech kryteriów: rodzaju silnika (LDD – *Light Duty Diesel* lub HDD – *Heavy Duty Diesel*), parametrów jego pracy [4] **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** (rys. 2) oraz normy emisji szkodliwych składników spalin, którą silnik spełnia [1] **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** Podział sadzy według ostatniego kryterium przypisuje się głównie zmianie generacji układów zasilania z bezpośrednim wtryskiem paliwa (zmiana parametrów takich jak: ciśnienie wtrysku, rozmiar kropeł, podział dawki), optymalizacji procesu spalania jak również systemowi oczyszczania gazów wylotowych (tab. 1).

Tab. 1. Technologie układów oczyszczania gazów wylotowych dla kategorii pojazdów PC (Passanger Car) i HDV (Heavy Duty Vehicles)

Norma / technologia	Kategoria pojazdu	
	PC	HDV/non road
Euro 3	CR I/PW, EGR+DOC, <i>opcja DPF</i>	PW/CR I+EGR
Euro 4	CR II, EGR+DOC – <i>opcja (DOC-DPF/CSF)</i>	CR II/PW+EGR/SCR+DOC/CRT
Euro 5	CR III, EGR+DOC-DPF/CSF, <i>opcja SCR</i>	CR III+EGR/SCR+CRT
Euro 6	CR IV, EGR/SCR+DOC-DPF/+CSF,	CR III+EGR/+SCR+CRT+slip NH ₃



Rys. 2. Obrazy wykonane techniką TEM różnych agregatów sadzy wyemitowanej przy różnych obciążeniach z silników ZS PC i HDD [4]

Ze względu na spełnianą przez silnik normę, w literaturze rozróżnia się sadzę spełniającą normę Euro 2-4 [2-8]. Najczęściej rozważane są sadze Euro 3 i 4, których morfologia i rozmiary zapoczątkowały największy negatywny wpływ na zdrowie człowieka (emisja została zdefiniowana jako nanocząstki). Z uwagi na duże podobieństwo technologii silników ZS spełniających limity Euro 4 i 5 (w większości wypadków dostosowanie silników ZS wykonanych w technologii Euro 4 do spełnienia normy Euro 5 odbyło się przez dodanie DPF – *Diesel Particulate Filter*) przyjęto, że fizyko-chemiczne właściwości cząstki sadzy emitowane przez silniki ZS spełniające normy Euro 4 i 5 są zbliżone.

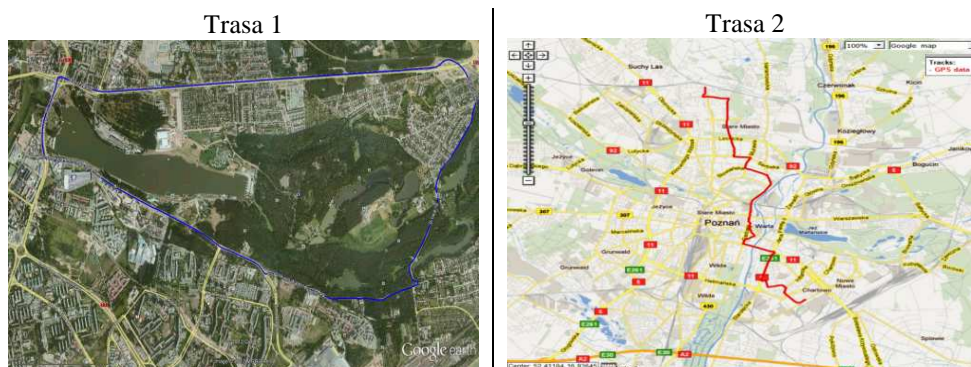
3. METODYKA BADAŃ

Analiza morfologii cząstek stałych wymaga pozyskania materiału badawczego. W tej kwestii w literaturze zamiennie rozpatruje się próbki pozyskiwane z silników kategorii PC i HDV. Brak jest informacji związanych z analizą liczby otrzymywanych do badań cząstek stałych z różnych źródeł silnikowych, co uzupełniono badaniami własnymi. Autorską analizę przeprowadzono dla pełnej komplekacji pojazdów (silnik + elementy zastosowane do obniżenia emisji, dobrane przez producentów do spełnienia przypisanych do pojazdu limitów emisji) celem porównania rozkładu liczby cząstek stałych na końcu układów wylotowych (tab. 3). W literaturze przyjmuje się do analizy cząstki stałe określane jako BS (*Black Soot*) ze źródeł syntetycznych (np. generatory cząstek stałych), które pozyskiwane są bezpośrednio za kolektorem wylotowym silnika lub też z silników wyposażonych w podstawowe układy oczyszczania spalin – recyrkulację spalin (EGR) i reaktory utleniające (DOC). Reaktory DOC w przeważającej większości wykorzystywane były jako układy podstawowe w pojazdach spełniających normę Euro 3 i 4. Cząstki stałe pozyskiwane za wymienionymi układami oczyszczania spalin, po obróbce cieplnej i chemicznej, charakteryzują się reprezentatywnymi parametrami potrzebnymi do dalszych badań związanych z ich utlenianiem (dopalaniem) w DPF. Kolejne rozwiązania techniczne zarówno silnikowe, jak i pozasilnikowe, pozwalające na obniżenie emisji niezbędnej do spełnienia odpowiednich regulacji prawnych, przede wszystkim normy Euro 5 przez pojazdy PC i HDV, uwzględniały użycie DPF. Porównanie parametrów fizycznych cząstek stałych emitowanych z pojazdów wyposażonych w DPF miało na celu analizę stopnia podobieństwa technologii pozasilnikowych oczyszczania spalin między opisywanymi kategoriami pojazdów.

Analizę rozkładu liczby cząstek stałych przeprowadzono na podstawie badań zrealizowanych w rzeczywistych warunkach eksploatacji – w cyklach charakteryzujących cykl miejski, na dwóch różnych odcinkach badawczych biegnących ulicami aglomeracji poznańskiej (rys. 3, tab. 2).

Tab. 2. Parametry tras wybranych do badań drogowych

Parametry tras	Trasa 1	Trasa 2
Długość [km]	10,9	14
Średnia prędkość [km/h]	23	25
Średni czas przejazdu [min.]	28	34



Rys. 3. Trasy przejazdu podczas badań pojazdów w ruchu miejskim

Badaniom poddano pojazdy, które pogrupowano według spełnianych przez nie norm emisji spalin dla danej kategorii (PC, HDV). Część producentów dostosowując swoje silniki do nowych norm emisji lub też testując nowe technologie na pojazdach sprzedawanych na rynku, często już na poziomie normy Euro 3 stosowały jako opcję w sprzedawanych samochodach nowoczesne, niemal prototypowe układy oczyszczania spalin. Do analizy jednak przyjęto klasyfikację z tabeli 3 bez wyposażenia opcjonalnego.

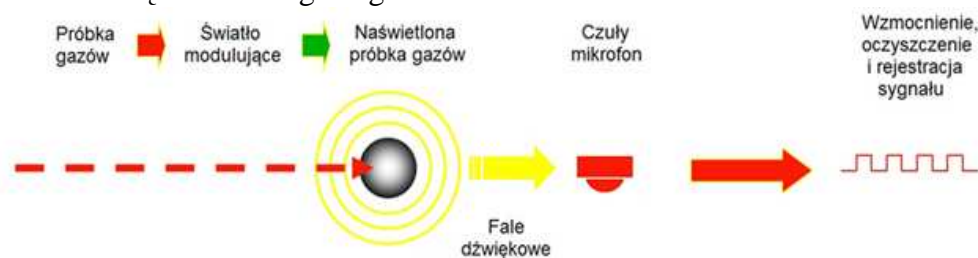
Tab. 3. Wybrane parametry pojazdów użytych do badań drogowych

Lp.	PC			Euro	HDV		
	Poj.	Vss [dm ³]	Rw		Ukł. Oczyszcz. spal.	Vss	Rw
1	1,7	CR I	EGR+DOC	III ↔	9,2	PW	EGR
2	1,9	PW					
3	1,9	CR I					
4	1,9	CR I					
5	2,0	CR I					
7	2,0	PW					
8	2,0	PW					
9	2,2	CR I					
10	1,7	CR II					
11	1,9	PW	EGR+CSF	7,2	CR II	EGR+DOC	
12	1,9	CR II	EGR+DOC	9,2	PW	DOC-DPF (CRT) +SCR	
13	2,0	CR II	EGR+DOC	9,2	PW	DOC-DPF (CRT) +SCR	
14	2,2	CR II	EGR+DOC	9,2	PW	DOC-DPF+SCR	
15	1,9	CR III	EGR+DOC-DPF	V ↔	6,7	CR III	SCR+DPF
16	2,0		EGR+CSF		6,7	CR III	EGR+DPF
17	2,0		EGR+DOC-DPF		6,9	CR III	EGR+DOC-DPF
18	2,2		DOC-DPF+SCR		9,3	CR III	EGR
19	3,0		EGR+CSF		9,3	CR III	EGR

Stopień stężenia cząstek stałych w spalinach mierzony był za pomocą mobilnego przyrządu AVL MSS (*Micro Soot Sensor*) pozwalającego na prowadzenie pomiarów w sposób ciągły. Wykorzystana aparatura charakteryzuje się dużą dokładnością, pozwala badać koncentrację od stężeń na poziomie 5 µg/m³, co stanowi około 10% wartości limitowanej w normach emisji dla silników ZS.

Urządzenie bazuje na fotoakustycznej zasadzie pomiaru. Schemat działania analizatora został przedstawiony na rysunku 4. Cząstki stałe zawarte w spalinach napromieniowywane są światłem modulowanym, w wyniku czego podlegają naprzemiennemu ogrzewaniu i chłodzeniu. W rezultacie badana próbka gazu okresowo zmienia swoją objętość. Proces ten generuje drgania ośrodka, który działa jak fala dźwiękowa. W analizatorze zamontowane są bardzo czułe mikrofony, pracujące w określonym zakresie amplitud i częstotliwości.

Mikrofony wyłapują wytworzone fale dźwiękowe badanej mieszaniny. Gdy w próbce jest czyste powietrze nie jest rejestrowany żaden sygnał, natomiast kiedy w gazie zaczynają pojawiać się cząstki stałe to również zaczyna być wykrywany sygnał. Impuls dźwiękowy jest wprost proporcjonalny do ilości cząstek stałych w gazie (stężenia). Spaliny wchodząc do komory pomiarowej mają ciśnienie równe atmosferycznemu ± 50 mbar, a ich temperatura jest nie większa niż 60°C . Aby uzyskać odpowiednią temperaturę i ciśnienia badanego gazu oraz aby sadza się nie kondensowała, spaliny wcześniej są rozcieńczane w urządzeniu. Analizator przekazuje informacje o stężeniu cząstek dla spalin rozcieńczonych oraz surowych. Uzyskiwane wyniki pomiaru wyświetlane są na bieżąco przez monitor komputera podłączonego do urządzenia. Szybkość transmisji danych może osiągać nawet 100 Hz w przypadku rozwiązania analogowego.



Rys. 4. Schemat działania analizatora AVL MSS

W celu określenia rozkładu wymiarowego cząstek stałych, zastosowano mobilny analizator TSI MODEL 3090 EEPS™ (*Engine Exhaust Particle Sizer™ Spectrometer*). Analizator umożliwia realizację ciągłego pomiaru średnic cząstek stałych zawartych w spalinach silnika. Rejestracja pomiaru może być wykonywana z częstotliwością do 10 Hz, co jest korzystne podczas pomiarów w czasie nieustalanej pracy silnika lub zimnego rozruchu. Zakres mierzonych średnic cząstek zawiera się w przedziale od 5,6 do 560 nm.

Spektrometr pobiera próbkę ze strumienia gazów wylotowych silnika. Na początku gaz przepływa przez filtr, na którym wyłapywane są cząsteczki większe niż $1\ \mu\text{m}$, czyli o średnicy znajdującej się poza zakresem pomiaru. Następnie cząstki, które przeszły przez filtr, prowadzone są na elektrodę ładującą. W tym miejscu wytwarzane są jony. W wyniku naładowania cząstek, można przeprowadzić ich klasyfikację wymiarową. Elektroda ładująca znajduje się w górnej części urządzenia. Z tego miejsca badane cząsteczki przechodzą do szczeliny pierścieniowej, która znajduje się między dwoma, współosiowymi cylindrami. W otoczenie szczeliny doprowadzany jest strumień powietrza z otoczenia. Cylinder wylotowy składa się ze stosu bardzo czułych elektrod, odizolowanych od siebie, ułożonych pierścieniowo. Na jednym końcu są one uziemione, natomiast na drugim są podłączone do czułych wzmacniaczy. Taka budowa prowadzi do wygenerowania pola elektrycznego pomiędzy koncentrycznymi cylindrami. Cząstki stałe naładowane dodatnio transportowane poprzez strumień powietrza odpychane są przez wysokonapięciową elektrodę w kierunku szczeliny pierścieniowej. Znajdujące się w tej przestrzeni czułe elektrody, wytwarzają prąd, który odczytuje sterownik.

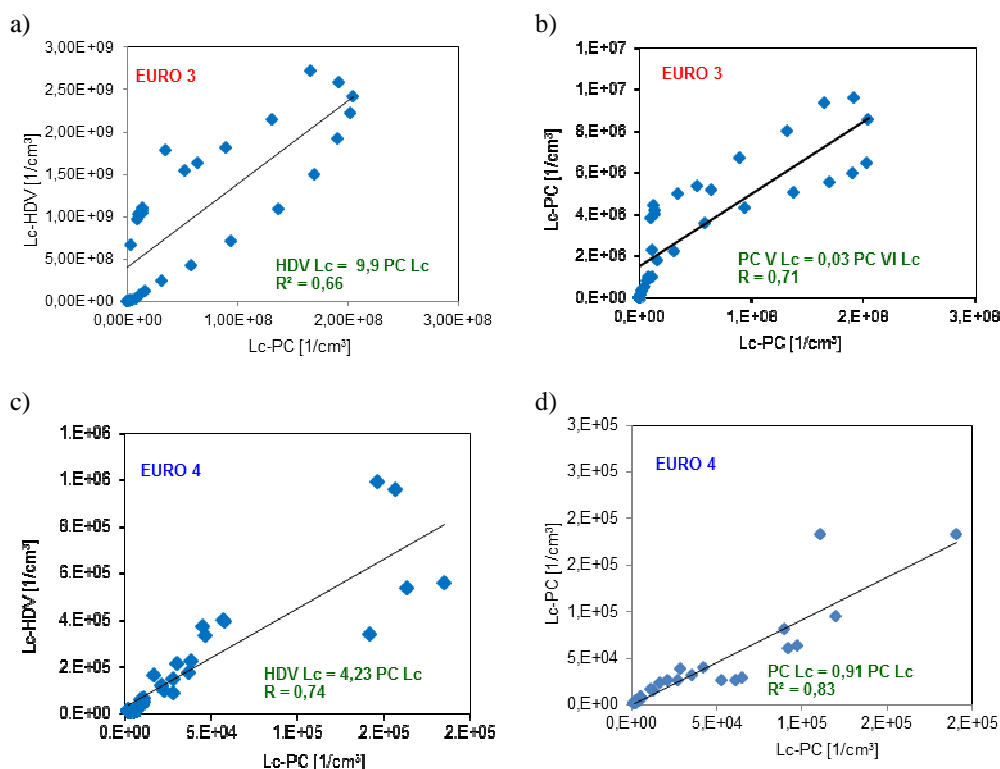
4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

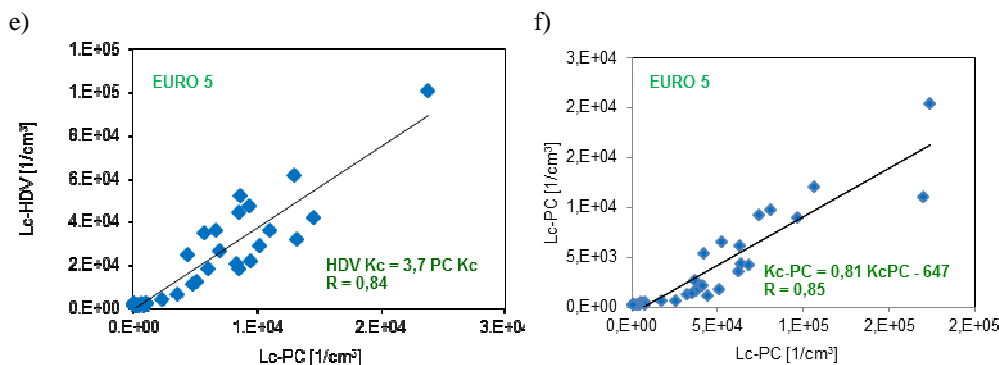
Wyniki badań przeprowadzonych w rzeczywistych warunkach eksploatacji poddano szczegółowej analizie i wyznaczono korelację otrzymanych wartości. Współczynniki korelacji są średnią z przebadanych pojazdów reprezentujących każdą normę. Wartości współczynników emitowanej liczby cząstek stałych zawarły się w granicach $R = 0,66-0,85$. W tabeli 4 zestawiono współczynniki rozbieżności określające udział wpływu innych układów na liczbę cząstek stałych emitowanych z badanych pojazdów.

Otrzymane wyniki wskazują na analogię pomiędzy współczynnikami korelacji rozkładu wymiarowego liczby dla norm Euro 3-5. W dziedzinie nauk technicznych przyjmuje się, że korelacja o współczynniku $R > 0,65$ wskazuje na wyraźną zależność między badanymi parametrami. Dla obu porównywanych zestawień pojazdów PC-PC oraz PC-HDV uzyskano najmniejszą korelację dla normy Euro 3 ($R = 0,66-0,71$), średnią dla Euro 4 ($R = 0,74-0,83$), największą dla normy Euro 5 ($0,84-0,85$). Współczynniki korelacji liczby cząstek stałych dla obu badanych kategorii pojazdów charakteryzują się niewielkimi rozbieżnościami. Wszystkie pojazdy wyposażone były w układy wtryskowe wysokociśnieniowe różnych generacji, które pomimo znacznych różnic w maksymalnych ciśnieniach wtrysku powodują zbliżony, średni, symetryczny udział liczby cząstek z każdego przedziału pomiarowego (6,4-523 nm). Główną przyczynę należy upatrywać w konfiguracji map wtryskowych nowoczesnych silników ZS, w których przy eksploatacji pojazdów na mocach częściowych, najczęściej występujących w ruchu miejskim, uzyskuje się zbliżone wysokie ciśnienia wtrysku. Maksymalne ciśnienia wtrysku osiągane są dla dużych mocy silnika występujących przy wysokich prędkościach pojazdu i obciążeniach w ruchu mieszanym, a przede wszystkim w ruchu autostradowym [8].

Tab. 4. Współczynniki rozbieżności dla pojazdów kategorii PC i HDV określające wpływ technologii silników oraz układów oczyszczania spalin na koncentrację i masę PM

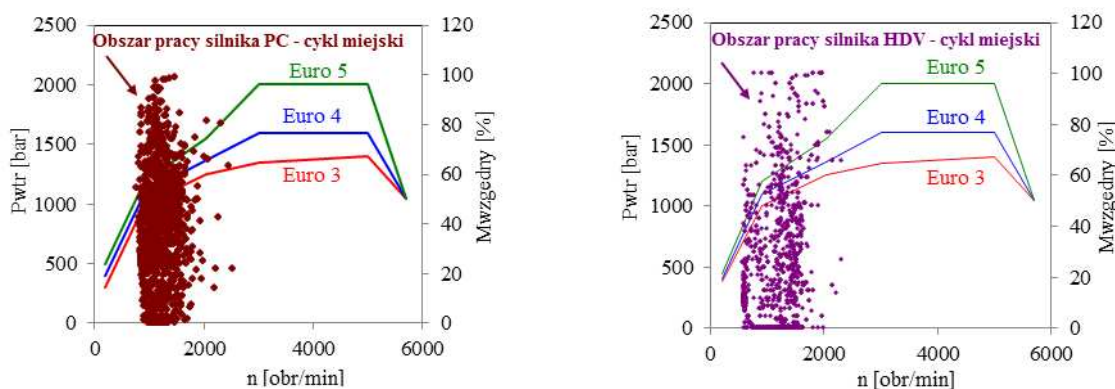
	dla pojazdów kategorii PC		
	Euro 3	Euro 4	Euro 5
L_c	0,29	0,17	0,15
dla pojazdów kategorii PC i HDV			
L_c	0,34	0,26	0,16





Rys. 5. Korelacja koncentracji cząstek stałych zmierzonej w warunkach rzeczywistej eksploatacji pomiędzy wybranymi pojazdami charakteryzującymi kategorie pojazdów LDV, HDV spełniających normy emisji Euro 3-5

Analizując współczynniki rozbieżności liczby cząstek między normami Euro 3 i 5 stwierdzono 52% średnią różnicę dla pojazdów HDV-PC oraz 48% dla PC-PC. Można więc stwierdzić, że dla obu zestawień pojazdów wartości te są porównywalne. Inaczej kształtują się jednak one pomiędzy poszczególnymi normami Euro. Dla pojazdów PC-PC jako znaczące można określić różnice między normami Euro 3-4 natomiast dla pojazdów PC-HDV różnice między kolejnymi normami są zbliżone. Oznacza to, że dla pojazdów PC już na poziomie normy Euro 4 uzyskano zintegrowane technologie oczyszczania gazów wylotowych o bardzo zbliżonej skuteczności. Stwierdzono różnice w zakresie rozmiaru cząstek 6,4-107 nm.



Rys. 6. Obszary pracy silników w ruchu miejskim pojazdów PC i HDV wybranych badanych pojazdów w zależności od ciśnień wtrysku różnych generacji układów wtryskowych zgodnie z normami Euro 3-5

Porównując pojazdy HDV-PC sytuacja jest inna. Występują rozbieżności między poszczególnymi normami, średnio o 45%. Wskazuje to na istotny wpływ stosowanych technologii silnikowych i pozasilnikowych dla norm Euro 3 do 5 na rozkład liczby cząstek stałych między pojazdami kategorii PC i HDV zarówno w aspekcie budowy silników (wpływające bezpośrednio na morfologię cząstek stałych), szczególnie układów wtryskowych, jak również pozasilnikowych układów oczyszczania gazów wylotowych. Dotyczy to przede wszystkim wzajemnego przesunięcia przebiegów rozkładu liczby cząstek stałych. Dla normy Euro 3 wyraźne przesunięcie zaobserwowano w całym zakresie średnicy cząstek stałych na co wskazują różnice między kolejnymi punktami korelacji (rys. 5 a). Porównanie pojazdów reprezentujących normę Euro 4 wskazuje przesunięcie rozkładu wymiarowego w zakresie cząstek do 200 nm. Największe niezgodności stwierdzono w zakresie rozmiarów 6,4-52,3 nm (rys. 5 b). Rozważając normę Euro 5 zakres różnic przesunął się z cząstek o średnicy do 220 nm na cząstki o średnicy do 107 nm. Może to wskazywać na

większą skuteczność obniżania masy cząstek stałych w emisji pozasilnikowej ale przede wszystkim za układem oczyszczania spalin oraz emisję cząstek stałych o mniejszych średnicach przez pojazdy PC.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że przy zachowaniu zbliżonych warunków eksploatacji pojazdów istnieje korelacja pomiędzy pojazdami PC-PC i HDV-PC w zakresie rozkładu wymiarowego emitowanej liczby cząstek stałych. Wartości korelacji są inne w zależności od normy/technologii jaką badane pojazdy spełniają. Analizując najczęściej rozważany w literaturze zakres średnic cząstek stałych 6,04-523,03 nm stwierdzono większe podobieństwo rozkładów wymiarowych dla pojazdów PC-PC w porównaniu do PC-HDV. Największy wpływ na rozbieżności miały cząstki o średnicach średnio do 150 nm. Większy udział cząstek stałych o małych średnicach odnotowano w pojazdach PC. Jest to efekt znacznie większej ilości punktów pracy w ruchu miejskim. Niezależnie od udziału pracy silnika w poszczególnych punktach ilość cykli pracy (udziału wtrysków paliwa do komory spalania ze względnie wysokim ciśnieniem wtrysku) w silnikach pojazdów PC w ruchu miejskim jest znacząco wyższa w porównaniu do pojazdów HDV. Większa liczba cząstek stałych o mniejszych średnicach to nie tylko efekt fazy nukleacji, która zachodzi w cylindrze silnika podczas procesu spalania lub też na krótkim odcinku w układzie wylotowym, ale również jest to efekt związany z częściowym utlenianiem sadzy w układzie oczyszczania spalin podczas regeneracji głębokiej. Należy zauważyć, iż prowadzi ona do zmniejszenia masy, a nie liczby cząstek stałych. Całkowita liczba emitowanych cząstek stałych dla pojazdów PC oraz HDV jest inna. Mniejszą liczbę cząstek stałych emitują pojazdy PC w porównaniu do HDV. Wynika to przede wszystkim z parametrów silnika takich jak pojemność, moc oraz ilość zużywanego paliwa.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza korelacji rozkładu liczbowego wskazuje, że rozważania dotyczące badań związanych z morfologią cząstek stałych powinny uwzględniać rodzaj pojazdów oraz z tym związaną specyfikę parametrów pracy silników spalinowych. W opracowaniu, matematycznie uzasadniono podobieństwo rozkładów dla zestawień pojazdów PC-PC oraz PC-HDV. Otrzymane wyniki badań wskazują, że liczba cząstek stałych w gazach wylotowych jest ściśle uzależniona od zastosowanego systemu oczyszczania spalin, w tym przede wszystkim dla rozwiązań wyposażonych w DPF. Pozyskiwanie materiału badawczego do badań morfologii cząstek stałych odgrywa istotną rolę w kwestii opracowania właściwych mechanizmów filtracji i regeneracji współzależnych od oczyszczania gazów wylotowych.

Zastosowana autorska metodologia umożliwia prowadzenie badań porównawczych między rozwiązaniami technicznymi zastosowanymi w pojazdach bez konieczności stosowania drogich i skomplikowanych systemów badań w warunkach hamowni podwoziowych. Jednak należy wziąć pod uwagę, że koniecznym aspektem jest przeprowadzenie testu na tym samym odcinku pomiarowym. Mniej istotnym czynnikiem jest przebieg pojazdu. W pracy [9] określono zależność między objętościowym wskaźnikiem emisji oraz przebiegiem pojazdu na poziomie $R^2 = 0,91$. Stwierdzono również, że duże znaczenie ma obciążenie pojazdu, co prowadzi do wniosku, że analiza powinna być prowadzona przy jak najbardziej zbliżonych parametrach technicznych użytych do badań pojazdów.

BIBLIOGRAFIA

1. Görke O., Pfeifer P., *Preferential CO oxidation over a platinum ceria alumina catalyst in a microchannel reactor*. International Journal of Hydrogen Energy 36 (2011). 8. Corporation. SAE Paper 2009-01-1079.

2. Iwasaki S., Mizutani T., *New design concept for diesel particulate filter*. SAE Paper 2011-01-0603.
3. Maier N., Nickel K.G., Engel C., Mattern A., *Mechanisms and orientation dependence of the corrosion of single crystal Cordierite by model diesel particulate ashes*. Journal of the European Ceramic Society 30 (2010), p. 1629–1640
4. Majewski W.A., *Diesel particulate filter*, www.dieselnet.com, 2007.
5. Makel D.B., Kennedy I.M., *Soot formation in laminar inverse diffusion flames*. Combustion Science and Technology no 97 (1994), p. 4–6.
6. Makoto N., Nagashima K., *Modeling of catalyst sintering and study of accelerated aging based on Pt/Al₂O₃ as a model catalyst*. SAE Paper 2007-01-1134.
7. Manufacturers of Emission Controls Association (MECA), *Diesel particulate filter maintenance: current practices and experience*. Washington D.C., 2005.
8. Mizutani T., Iwasaki S., Miyairi Y., Yuuki K., Makino M., Kurachi H., *Performance verification of next generation diesel particulate filter*. SAE Paper 2010-01-0531.
9. Mooney J.J., *Emission control technology for light-duty vehicles*. Engelhard Corporation, Asian Vehicle Emission Control Conference – AVECC 2001, Bangkok 30.01-1.02.2001.

ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF THE NUMBER PARTICULATE MATTER EMITTED BY PC AND HDV VEHICLES IN REAL CONDITIONS

Abstract

The article presents the results of the particulate emission vehicles in category PC and HDV. The test vehicles were equipped with diesel engines of various types of exhaust gas cleaning systems. In the study were used mobile gas analyzers PEMS (Portable Emissions Measurement Systems) - particle concentration analyzer AVL MSS and TSI EEPS mass spectrometer due to the measurements in real operating conditions in urban traffic. The results obtained as a result of road tests have been analyzed on the basis of the concentration correlation coefficients. There were determined for PC-PC and PC-HDV. The analysis was conducted by Euro emission standards 3-5.

Autorzy:

dr hab. inż. **Paweł Fuć** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: pawel.fuc@put.poznan.pl

prof. dr hab. inż. **Jerzy Merkisz** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl

dr inż. **Piotr Lijewski** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: piotr.lijewski@put.poznan.pl

dr inż. **Maciej Bajerlein** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: maciej.bajerlein@put.poznan.pl

mgr inż. **Piotr Molik** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: piotr.c.molik@doctorate.put.poznan.pl

mgr inż. **Łukasz Rymaniak** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: lukasz.m.rymaniak@doctorate.put.poznan.pl